

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-162326

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51)Int.Cl.⁶
G 1 1 B 5/39

識別記号

F I
G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 15 頁)

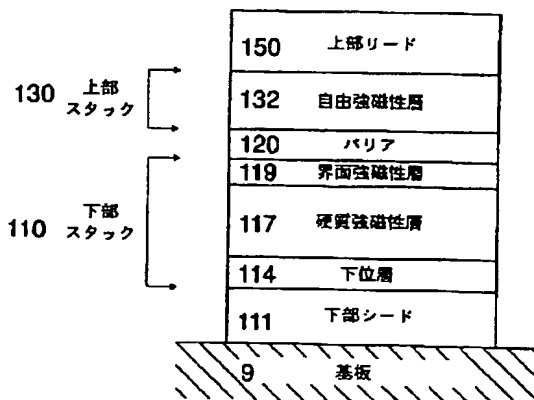
(21)出願番号	特願平9-277156	(71)出願人	390009531 インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク (番地なし)
(22)出願日	平成9年(1997)10月9日	(72)発明者	スチュアート・ステファン・パップワース・パーキン アメリカ合衆国95123、カリフォルニア州 サン・ホセ、ロイヤル・オーク・コート 6264
(31)優先権主張番号	08/757175	(74)代理人	弁理士 坂口 博 (外1名)
(32)優先日	1996年11月27日		
(33)優先権主張国	米国 (US)		

(54)【発明の名称】 磁気トンネル接合素子、接合メモリ・セル及び接合磁界センサ

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 メモリや外部磁界の検出用の磁気トンネル接合 (MTS) 素子で有効範囲内での磁界印加時にモーメントが回転しない強磁性層を使用する素子を提供する。

【解決手段】 素子の磁気トンネル接合要素は、保磁力が大きく、有効範囲の印加磁界があるとき磁気モーメントが固定された状態に保たれる強磁性多層構造と、モーメントが自由に回転可能な1つの自由強磁性層と、強磁性多層構造と自由強磁性層の間に位置してそれと接触した絶縁トンネル・バリア層で構成される。固定強磁性多層構造は2つの層、保磁力が印加磁界よりもかなり大きい第1強磁性層、及びスピン・フィルタ効果が大きく、第1強磁性層と絶縁トンネル・バリア層の間に位置してそれと接触した薄い強磁性界面層で構成される。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】印加磁界があるときに磁気トンネル結合素子の電気抵抗の変化を検出する電気回路と接続する該素子であって、

前記素子にとって有効な範囲の印加磁界よりもかなり大きい保磁力を持つ第 1 強磁性層、及び該第 1 強磁性層上に形成されそれと接触し、該第 1 強磁性層よりも磁化が大きく、該第 1 強磁性層と比較してかなり薄い、界面強磁性層の 2 つの強磁性層を含む多層構造であって、該多層構造の保磁力が該第 1 強磁性層の保磁力を大きく下回

ることはなく、よって該多層構造のモーメントは有効範囲の印加磁界があるときに好適な方向に固定される、該多層構造と、

有効範囲の印加磁界があるときモーメントが自由に回転する自由強磁性層と、

前記多層構造の前記界面強磁性層と前記自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる絶縁トンネル層と、

前記多層構造、トンネル層及び自由強磁性層が形成された基板と、

を含む、磁気トンネル接合素子。

【請求項 2】前記多層構造と自由強磁性層のモーメントは、印加磁界があるとき互いにはば平行か逆平行である、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 3】前記自由強磁性層のモーメントは、印加磁界があるとき前記多層構造のモーメントに対してはほぼ垂直である、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 4】前記多層構造は、前記基板と絶縁トンネル層の間に位置する、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 5】前記自由強磁性層は、前記基板と絶縁トンネル層の間に位置する、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 6】前記自由強磁性層の物質は、Co、Co の合金及び Ni - Fe の合金で構成されたグループから選択される、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 7】前記多層構造の第 1 強磁性層の物質は、Co 及び Cr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru 及び B のいずれかまたは複数との合金を含む、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 8】前記多層構造の第 1 強磁性層の物質は、Co、Pt 及び Cr を含む合金であり、Co - Pt - Cr 合金が形成され、Cr、Cr - V 合金、Ta、Ti - W 合金、Ta - W 合金、W 及び Mo で構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 9】前記界面強磁性層の第 1 強磁性層の物質は Co である、請求項 1 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 10】前記 Co 界面強磁性層の厚みは約 0. 8

nm 乃至 2. 0 nm の範囲である、請求項 9 記載の磁気トンネル接合素子。

【請求項 11】2 つの磁気状態を有し、メモリ・セルの不揮発性磁気メモリ・アレイに使用でき、該アレイは読取り／書き込み回路に接続されて、該アレイの個々のメモリ・セルの磁気状態を変化させ且つ検出する、磁気トンネル接合メモリ・セルであって、

前記読取り／書き込み回路からの電流により生じた印加磁界があるときモーメントが好適な方向に固定され、前記印加磁界よりもかなり大きい保磁力を有する第 1 強磁性層と、該第 1 強磁性層上に形成されそれと接触した界面強磁性層とを含み、該界面層は磁化が該第 1 強磁性層の磁化よりもかなり大きく、該第 1 強磁性層と比較してかなり薄いため、固定強磁性多層構造の保磁力は、該第 1 強磁性層の保磁力をかなり下回り、よって該固定多層構造のモーメントは、前記印加磁界があるとき前記好適な方向に固定された状態にとどまる、該固定強磁性多層構造と、

モーメントが、前記印加磁界下で前記固定多層構造のモーメントにはば平行な方向と逆平行な方向の間で自由に回転可能な自由強磁性層と、

前記多層構造の界面強磁性層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層と、

前記固定多層構造、トンネル層及び自由強磁性層が形成された基板と、を含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が前記読取り／書き込み回路に接続されたとき、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が、前記自由強磁性層の前記平行または逆平行なモーメントにより決定され、よって前記電気抵抗の値により、前記メモリ・セルの磁気状態が決定可能になる、

磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項 12】前記多層構造は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、請求項 11 記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項 13】前記自由強磁性層は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、請求項 11 記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項 14】前記自由強磁性層の物質は、Co、Co の合金及び Ni - Fe の合金で構成されたグループから選択される、請求項 11 記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項 15】前記多層構造の第 1 強磁性層の物質は、Co 及び Cr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru 及び B のいずれかまたは複数との合金を含む、請求項 11 記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項 16】前記多層構造の第 1 強磁性層の物質は、

Co、Pt及びCrを含む合金であり、Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ti-W合金、Ta-W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、請求項1記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項17】前記界面強磁性層の物質はCoである、請求項1記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項18】前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、請求項17記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項19】2つの磁気状態を有し、メモリ・セルの不揮発性磁気メモリ・アレイに使用でき、該アレイは読取り／書き込み回路に接続されて、該アレイの個々のメモリ・セルの磁気状態を変化させ且つ検出する、磁気トンネル接合メモリ・セルであって、

基板と、

前記読取り／書き込み回路からの電流により生じた印加磁界があるときモーメントが好適な方向に固定される固定強磁性多層構造であって、Co、Pt及びCrを含み、前記基板上に形成され、保磁力が前記印加磁界よりもかなり大きい合金の強磁性層と、基本的にはCoで構成され、該Co-Pt-Cr層上に形成されてそれと接触し、磁化が該Co-Pt-Cr層よりもかなり大きく、該Co-Pt-Cr層の厚みと比較してかなり薄い界面強磁性層とを含み、該多層構造の保磁力は該Co-Pt-Cr層の保磁力をかなり下回り、よって該固定多層構造のモーメントは前記印加磁界があるとき前記好適な方向に固定された状態にとどまる、固定強磁性多層構造と、

モーメントが前記印加磁界下で前記固定多層構造のモーメントにほぼ平行な方向と逆平行な方向の間で自由に回転可能な自由強磁性層と、

前記多層構造の界面Co層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層とを含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が前記読取り／書き込み回路に接続されたとき、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が、前記自由強磁性層の前記平行または逆平行なモーメントにより決定され、よって前記電気抵抗の値により、前記メモリ・セルの磁気状態が決定可能になる、

磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項20】前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、請求項19記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項21】Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ti-W合金、Ta-W合

金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、請求項19記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項22】前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、請求項19記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

【請求項23】外部磁界を検出する磁気トンネル接合磁界センサであって、

検出される外部磁界の範囲の印加磁界があるときモーメントが好適な方向で固定され、保磁力が該印加磁界よりもかなり大きい第1強磁性層と、該第1強磁性層上に形成されこれと接触し、磁化が該第1強磁性層の磁化よりもかなり大きく、該第1強磁性層の厚みと比較してかなり薄い界面強磁性層とを含み、よって該モーメントが該印加磁界があるとき該好適な方向に固定された状態にとどまる、固定強磁性多層構造と、

モーメントが、印加磁界がないとき前記固定多層構造のモーメントに対してはほぼ垂直な方向を向き、検出される外部磁界の範囲の印加磁界があるとき該垂直な方向から離れるように自由に回転可能な、自由強磁性層と、

前記界面層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層と、

前記固定多層構造、トンネル・バリア層及び自由強磁性層が形成された基板と、を含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が、検出される外部磁界下にあるとき、前記自由強磁性層のモーメントは、前記固定多層構造のモーメントに対してその向きを変え、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が変化し、よって外部磁界が検出可能になる、磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項24】前記多層構造は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項25】前記自由強磁性層は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項26】前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項27】前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co及びCr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru及びBのいずれかまたは複数との合金を含む、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項28】前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co、Pt及びCrを含む合金であり、Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ta-

W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項29】前記界面強磁性層の物質はCoである、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【請求項30】前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、請求項23記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、メモリや外部磁界を検出するため用いられる磁気トンネル接合(MTJ)素子に関し、有効範囲内の印加磁界があるときにモーメントが回転しない固定強磁性層として強磁性層の多層構造を使用するMTJ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】磁気トンネル接合(MTJ)は、薄い絶縁層で分離された2つの強磁性電極を含む素子である。絶縁層は、強磁性電極間で電荷キャリアの量子力学的トンネル効果が起こるのに十分な薄さである。トンネル効果のプロセスは電子スピンのみに依存する。つまり接合部のトンネル効果電流は、強磁性物質のスピンに依存する電子の性質に依存し、2つの強磁性電極の磁気モーメント(磁化方向)の相対的向きの関数である。2つの強磁性電極は、それらのモーメントの相対的向きを外部磁界で変えられるように磁界に対する応答が異なるように設計される。

【0003】1993年以前の頃の強磁性電極間のトンネル効果の実験結果が、R. Meserveらによる"Spin-polarized Electron Tunneling", Physics Reports, Vol. 238, pp. 214-217で解説されており、室温ではせいぜい1%乃至2%のオーダのごくわずかな応答しか示していない。妥当と思われる大きさの応答を示しているのは、走査トンネル顕微鏡を用いた2つの実験だけである。1つは100%スピン偏極したCrO₂チップを採用し、室温で40%の偏極電流変調を示したが、これはR. Wiesendangerらによる"Observation of Vacuum Tunneling of Spin-polarized Electrons with the Scanning Tunneling Microscope", Physics Review Letters, Vol. 65, 1990, page 247に述べられているとおりである。

【0004】磁気抵抗応答が18%とかなり大きいMTJ素子が、T. Miyazakiらによる"Giant Magnetic Tunneling Effect in Fe/Al₂O₃/Fe Junction", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 139, No. L231, 1995で報告されている。しかし著者が報告しているのは、結果としての18%の磁気抵抗を再現できなかったということである。同時期に作製された他の接合は、応答がわずか1%乃至6%である。この他の報告によると、MTJ素子の磁気抵抗はCoFe/Al₂O₃/Co

の大きな接合部で室温で最大18%であり、これはJ.

S. Mooderaらによる"Large Magnetoresistance at Room Temperature in Ferromagnetic Thin Film Tunnel Junctions", Physics Review Letters, Vol. 74, 1995, page 3273及びJ. S. MooderaとL. R. Kinderによる"Ferromagnetic-Insulator-Ferromagnetic Tunneling: Spin Dependent Tunneling and Large Magnetoresistance in Trilayer Junctions", Journal of Applied Physics, Vol. 79, 1996, page 4724に述べられている。著者らは、表面あらさの減少がよい結果をもたらす筈であるとの仮説を立てた。これを実現するためベース電極の成長をみる極端な尺度に依り、低温工学的に冷却した基板への蒸着、シード層の使用及びベース電極をきわめて薄くする処理を組み合わせた。Al層を低温工学的に冷却してからこれを暖め、プラズマ酸化させ、Alのほとんどを消費することによってトンネル・バリアが形成された。これらの文献の最初のものでは、室温で最大の接合磁気抵抗変化が観測されたのは11.8%と報告されている。次の文献では、室温で最大の接合磁気抵抗変化は18%と報告され、多くの接合部に、室温で14%乃至17%の範囲の磁気抵抗変化があったと報告されている。接合抵抗は、断面積が200×300μm²の接合部で数百Ωから数十kΩの範囲だった。

【0005】従って、MTJ素子を有益な程度まで大きい磁気抵抗応答をもたせて室温で作製することが困難であることは明らかである。室温での予測された大きさの磁気抵抗応答の最初の観測は、スピン偏極した走査トンネル顕微鏡で行われた。従来技術では後に、予測された大きさのMTJ応答を室温で再現可能に実現したのは、Mooderaと協力者だけである。ただしこれは、風変わりな非実証的な薄膜被着法を用いて作製された大きい素子についてのみであった。

【0006】従来の技術のMTJ素子に見られる他の問題は、磁気抵抗応答と磁界が、磁界に対して理想的なステップ状の応答を示していないことである。T. Miyazakiらによる"Large Magnetoresistance Effect in Fe/Al₂O₃/Co Magnetic Tunneling Junction", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 98, No. L7(1991)は、ステップ状の磁気抵抗応答をどのようにして実現することができたかを示しているが、これは限定された印加磁界範囲に関してのみである。印加磁界の偏位が瞬間的に大きすぎる場合、磁気抵抗応答特性は反転し得る。

【0007】最近、IBMの1996年3月18日付け米国特許出願番号第08/618300号では、MTJ素子の2つの強磁性層の1つを磁気的に硬化する、または磁気的にピン止めするため、反強磁性交換バイアス層を使用することにより、室温磁気抵抗応答が大きくなり、磁気応答が制御されたMTJ素子を作製する方法が明らかにされている。このMTJ素子は磁気信号に対する磁気

抵抗応答が曖昧ではなく制御され、大量生産が可能である。ただし、反強磁性交換バイアス層を取り入れたこのような素子は、交換バイアス物質のブロッキング温度によって定義される限られた温度範囲でしか動作しない。またこのような素子の熱安定性は、隣接した層と接触した交換バイアス層の熱安定性によって制限される。従来から周知のMTJ素子は比較的単純な素子であり、MTJ要素は、それぞれ保磁力が明確に異なる2つの強磁性層を組み込んでいる。これらの層の1つ、硬質強磁性層または固定強磁性層は、もう1つの検出強磁性層または軟質強磁性層よりも保磁力をかなり高くするよう選択される。ただしこのような従来のMTJ素子は、ゼロ磁界で十分に画成された2つの磁気状態を示さないか、磁気抵抗の値が低いかのいずれかである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、ゼロ磁界で十分に定義された2つの状態及び高い磁気抵抗を示すように高温で安定しており、高保磁力、高残留磁化、高スピン偏極と、所望の特性を全て備えた固定強磁性層を持つMTJ素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、2つのMTJ電極のうち1つの保磁力の大きい1つの硬質強磁性層の代わりに、強磁性層の多層構造を使用するメモリ・セルとしてまたは外部磁界センサとして使用可能なMTJ素子である。素子のMTJ要素は保磁力が大きく、有効範囲内の印加磁界があるとき、そのモーメントが固定された状態が保たれる強磁性多層構造、及び強磁性多層構造と自由強磁性層の間に位置しそれと接触した絶縁トンネル・バリア層で構成される。固定強磁性多層構造は2つの層で構成される。保磁力が印加磁界より大きい第1強磁性層、及びスピン・フィルタ効果が大きく、第1強磁性層と絶縁トンネル・バリア層の間に位置しそれと接触した薄い強磁性界面層である。多層構造の第1強磁性層の物質は磁化を弱くすることができ、よってスピン・フィルタ効果も弱くすることができる。スピン・フィルタ効果は界面層により得られるからである。多層構造の界面の強磁性層は、保磁力は比較的弱い、多層構造全体の保磁力が劣化しないように薄くされる。このMTJ素子はトンネル磁気抵抗応答がよく、ゼロ磁界で充分画成された2つの磁気状態を示し、高い動作温度でも安定である。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明を理解を助けるために、従来の技術のMTJ要素について図1乃至図6を参照しながら説明するが、これはIBMの1996年3月18日付米国特許出願番号第08/618300号に述べられ図示されている型のMTJ素子に組み込まれる。

【0011】図1と図2は、磁気メモリ・セルの用途に適したMTJ素子を示す。図1に断面を、図2に平面を示

したMTJ素子は理解を助けるため、ベース電極スタック10、絶縁トンネル・バリア層20、及び上部電極スタック30を含む従来の技術のMTJ要素と共に示している。MTJは基板9上に形成される。MTJ素子はコンタクト・ホールが開けられた絶縁層40及び電気リードとして働く上部配線層50により完全になる。電極スタック10、30はそれぞれ、強磁性層がトンネル・バリア層20の両側に位置しトンネル・バリア層20と接触する。基板9上に形成されるベース電極スタック10は、基板9上に堆積されたシード層12と界面層14、及び界面層14上に形成された"固定"強磁性層18を含む。強磁性層18が固定層と呼ばれるのは、保磁力の大きい物質から形成されるからである。この物質のモーメント（磁化方向）は、MTJ素子にとって所望の範囲の印加磁界、つまりメモリ・アレイの読取り／書き込み回路からメモリ・セルに印加された書き込み電流により生じる磁界があるとき、回転を妨げられる。上部電極スタック30は"自由（フリー）"強磁性層32と、自由層32上に形成された保護層34を含む。自由強磁性層32のモーメントは固定されず、従って有効範囲の印加磁界があるとき自由に回転する。電極スタック10、30の強磁性層18、32は両方とも磁化容易方向が、ベース電極10（図2）の延長部11、13として形成される下部配線層の長さに平行な同じ方向で互いにはほぼ平行になるよう作製される。この方向は図2で矢印33として示している。トンネル・バリア層20の真下のスタック10固定強磁性層18はモーメントが固定されるが、これは層が保磁力の大きい、つまり有効範囲の印加磁界よりもかなり大きい物質から形成されるからである。メモリ・セルの読取りや書き込みの操作でメモリ・セルに印加される磁界に匹敵する大きさの磁界については、固定強磁性層18のモーメントに考えられる向きは1つしかない。上部電極スタック30の自由強磁性層32は磁気特性が異方性であるが、磁化方向は固定されない。むしろその磁化方向は所望の範囲の磁界が印加されることによりその容易方向のいずれかに沿って安定に配向される。

【0012】図3は図1と同様の従来の技術のMTJの断面であるが、これは先に引用した出願で実施例として述べられ図示されているMTJメモリ・セルに組み込まれている。ベース電極スタック10'、絶縁トンネル・バリア20'及び上部電極スタック30'は全て断面積が同じである。ベース電極スタック10'は、基板9上に形成された配線リード11'上に形成される。絶縁層40'はMTJ全体を囲み、リード11'まで延びる。絶縁層40'と保護層34'は基本的にコプラナである。従って電気リード50'はMTJ要素の上部の平坦化層として形成される。この構造により、ダイオード、トランジスタ等の電子素子の上部にメモリ・セルを容易に作製でき、個々の磁気セルを流れる検出電流が操作される。

【0013】MTJメモリ・セルが読取り／書き込み回路

に接続されたメモリ・セルのアレイにあるとき、セルへの書き込みは上部 50 と下部 11、13 の電極配線層 (図 1、図 2) に書き込み電流を流すことによって行われる

(または MTJ セル付近に位置するこれら、或いは他の書き込み線やビット線の組み合わせに電流を流すことによって)。これらのライン両方に十分に大きい電流が流れるとき、自由強磁性層 32 付近に生じる組み合わせ磁界により、自由強磁性層 32 の磁化方向が、固定強磁性層 18 の磁化方向に対して平行から逆平行 (またはその逆に) に回転する。電流のレベルは、電流のレベルにより生成される組み合わせ磁界が自由強磁性層のスウィッチング磁界を超えるように選択される。組み合わせ書き込み電流により生じるこの磁界は、固定強磁性層の磁化を回転させるのに必要な磁界よりもかなり小さくなるよう選択される。書き込み電流は配線層 50 及び 11、13 に比べて抵抗が大きい MTJ を垂直方向には流れない。MTJ メモリ・セルは、固定強磁性層からトンネル接合バリアを経て自由強磁性層 (またはその逆に) MTJ に垂直に検出電流を流すことによって読取られる。メモリ・セルの状態は書き込み電流よりもかなり小さい検出電流が MTJ に垂直に流れたときのメモリ・セルの抵抗を測定することによって決定される。この検出電流または読取り電流の自己磁界は無視でき、メモリ・セルの磁気状態に影響を与えない。

【0014】トンネル・バリアでの電荷キャリアのトンネル効果の可能性は、2つの強磁性層の磁気モーメントの相対的アライメントに依存する。トンネル電流はスピン偏極する。つまり一方の強磁性層から流れる電流は、1つのスピン型 (強磁性層の磁化方向によりスピン・アップまたはスピン・ダウン) の電子が支配的構成要素である。電流のスピン偏極の程度は、強磁性層とトンネル・バリアの界面での強磁性層を構成する磁性物質の電子特性によって決定される。第1強磁性層のトンネル・バリアは従ってスピン・フィルタとして働く。電荷キャリアのトンネル効果の可能性は、第2強磁性層の電流のスピン偏極と同じスピン偏極の電子状態が得られるかどうかに依存する。通常、第2強磁性層の磁気モーメントが、第1強磁性層の磁気モーメントに平行なときは、第2強磁性層の磁気モーメントが、第1強磁性層のそれに逆平行に整列しているときよりも多くの電子状態が得られる。従って電荷キャリアのトンネル効果可能性は、両方の層の磁気モーメントが平行なとき最大で磁気モーメントが逆平行なとき最低である。モーメントが、平行であれ逆平行であれ配列されるとき、トンネル効果可能性は中間値をとる。従って MTJ メモリ・セルの電気抵抗は、電流のスピン偏極と両方の強磁性層の電子特性に依存する。その結果、自由強磁性層の2つの可能な磁化方向により、メモリ・セルの2つの可能なビット状態 (0 または 1) が一意に定義される。

【0015】図4、図5はそれぞれ、先に引用した 1 B

M の出願に述べられているように、外部磁界センサとして用いられる MTJ 素子に組み込まれる従来技術の MTJ の断面と平面を示す。MTJ は図1、図2に似ているが、上部接合電極スタック 70 は、トンネル・バリア層 20 に隣接した強磁性層 72 を含む。トンネル・バリア層 20 の磁化容易方向は、下部電極スタック 10 のピン止め強磁性層 18 の磁化に対して平行ではなく垂直に並ぶ。これにより MTJ 素子は、磁気記録ディスク等の磁性媒体から、磁気的に記録されたデータを検出するセンサとして働く。上部配線層 50 は先に引用した出願に述べられているように、保護層 74 上に形成され、平坦化絶縁層 40 により接合部から隔離している。印加外部磁界が弱い場合、下部電極 10 の硬質強磁性層 18 の磁化方向 (矢印 19) は固定され、自由強磁性層 72 の磁化方向 (矢印 73) は、矢印 19 の方向に向かうかまたはそこから離れるよう基板 9 の平面で自由回転する。

【0016】先に述べた MTJ メモリ・セルと MTJ 磁界センサは両方とも、従来技術の MTJ 要素の共通の要素、つまり保磁力の大きい硬質固定強磁性層を持つ下部電極 10、自由強磁性層を持つ上部電極 30 及びトンネル・バリア 20 を含む。これら共通要素をここでは "MTJ 要素" と呼ぶ。先に述べたメモリや磁界検出用の MTJ 素子に用いられる MTJ 要素の基本薄膜構造は、層の順序やそれらの組成に関しては同じである。従来の技術の基本 MTJ 要素を構成する層が図6に示してある。この要素は、それぞれシード層 14、固定強磁性層 18 としての 5 nm の Ta、10 nm の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ で構成される下部電極 10 を持つ。電極 10 は基板 9 上の電気リード層 11 上に形成される。トンネル・バリア 20 はアルミナ (Al_2O_3) を形成するため 600 秒プラズマ酸化した 1.6 nm 厚の Al 層である。上部電極スタック 30 は自由強磁性層 32 としての 20 nm の $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ の単層で構成される。電気リード 50 は保護層 (図1の層 34) を使用せずに、強磁性層 32 上に直接、20 nm の Cu 層として形成される。この MTJ 要素は、最初に基板の表面に平行に印加される磁界で下部電極 10 を被着することによって作製される。次にトンネル・バリア層 20 を形成するため、1.6 nm の Al 層が被着され、次にプラズマ酸化により公称 Al_2O_3 の層が作られる。その後、上部電極スタック 30 が形成される。様々な層が従来のスパッタリング法を用いた DC マグネトロン・スパッタ蒸着により室温で基板と被着される。通常、被着速度は Al を除く全ての層で $2 \text{ \AA}/\text{秒}$ 、Al は $1 \text{ \AA}/\text{秒}$ で被着される。Al で被着速度が低いと Al 層が平滑になる。下部電極スタック 10 の層が平滑であること、また Al_2O_3 層 20 に他の場合は接合部を電気的に短絡させるピンホールがないことは重要である。

【0017】図7は、磁界が MTJ 要素の層に対して平行に要素の磁化容易方向に沿って印加されたとき、図6の従来技術の MTJ 要素のトンネル抵抗 (磁気抵抗 M

R)の変化を示す。抵抗は、トンネル・バリア20に沿った層に垂直に電流を流すことによって測定される。図7に示すようにトンネル磁気抵抗曲線は、メモリ用途について有効な場の範囲、つまり約 ± 3000 eでかなりのヒステリシスを示す。確かに磁気抵抗曲線は約 2000 eの正磁界と負磁界で2つの“こぶ”を示している。図7で磁界は最初 $+12000$ eにセットされた。これは磁界に平行な上部と下部の強磁性層のモーメントを描えるのに充分である。磁界が0以下になるとMTJ要素の抵抗が大きく変化する。これは上部電極の自由強磁性層32のモーメントが、下部電極の固定強磁性層18のモーメントの向きに対してその向きを大きく変えるために生じる。大きい正磁界では、自由強磁性層と固定強磁性層のモーメントは互いに平行であるが、小さい負磁界では、モーメントは互いにほぼ逆平行であり、MTJ要素の抵抗は大きい正磁界の抵抗より約13%大きい。負磁界が約 -4000 eとあまり大きくなく、 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ の固定強磁性層18の保磁力におよそ対応すると、下部電極のこの層の磁気モーメントは印加磁界に対して平行になり、従って上部電極30の強磁性層32のモーメントに対して平行になるよう回転し、よってMTJ要素の抵抗が減少する。これは約 -2500 e付近のトンネル磁気抵抗曲線にあるこぶを説明する。磁界が大きい負磁界から正磁界に増加する際、層18、32の磁気モーメントの向きの同様な変化のシーケンスは、約 $+2500$ e付近の小さい正磁界でのこぶを説明する。従来技術のMTJ要素でトンネル磁気抵抗曲線の形は、メモリや磁界検出の用途のいずれにも適していないが、これはMTJ要素がゼロ磁界で充分に画成された2つの磁気状態を示さないからである。同様の構造は文献に述べられており、全て図7のものと同様のトンネル磁気抵抗曲線を示している。例えばJ. S. MooderaとL. S. Kinderによる“Ferromagnetic-Insulator-Ferromagnetic Tunneling: Spin Dependent Tunneling and Large Magnetoresistance in Trilayer Junctions”, Journal of Applied Physics, Vol. 79, 1996, page 4724は、2重こぶのトンネル磁気抵抗と磁界の曲線を示す $\text{CoFe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ と $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{NiFe}$ の構造について述べている。J. S. Mooderaらによる“Geometrically Enhanced Magnetoresistance in Ferromagnet-Insulator-Ferromagnet Tunnel Junctions”, Applied Physics Letters, Vol. 69, 1996, page 7081は、同様の $\text{CoFe}/\text{AlN}/\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ 接合部について述べている。ここではMTJ要素の応答が ± 200 eと小さい印加磁界についても、磁界のサイクリングに対して安定していないことを明らかにしている。同様にT. Miyazakiらによる“Large Magnetoresistance Effect in $82\text{Ni-Fe}/\text{Al-Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ Magnetic Tunneling Junction”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 98, No. L7, 1991は、 ± 600 eの磁界偏位に対して安定ではない Ni_{50}

$\text{Fe}_{50}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ のMTJ要素についてトンネル磁気抵抗曲線を示している。

【0018】図6の構造に従った、また図7の望ましくないトンネル磁気抵抗応答を持つ従来技術のMTJ要素の代わりに求められるのは、硬質固定強磁性層のための保磁力と残留モーメントが大きいだけでなく、トンネル・バリアでこの強磁性層から電子トンネル効果を起こす強力なスピン・フィルタ効果を引き起こすMTJ要素である。図8は本発明に従ったMTJ要素の構造を示す。下部電極110はCrの界面層114、及び固定強磁性層として働く多層構造を含む。多層構造は2つの層、保磁力の大きい硬質強磁性層117と薄い界面強磁性層119、から形成される。アルミナ・トンネル・バリア層120上に形成される上部電極130は、好適には自由強磁性層132として使用できる $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ またはCo単層である。Alの電気リード層150は、保護層を使用せずにCoの自由層132上に形成される。

【0019】界面強磁性層119は、硬質強磁性層117とトンネル・バリア120の界面に位置する。界面層119は、Co、Co-Fe合金、Ni-Fe合金、Co-Ni合金、Co-Ni-Feの3元合金等、強力なスピン・フィルタ効果を生じるように選択される。強力なスピン・フィルタ効果を生じる強磁性物質はトンネル効果電子のスピン偏極が大きい、つまり強磁性/トンネル・バリア/超伝導電極の接合部で電子のトンネル効果を調べる実験で、1つのスピン型（アップまたはダウン）の電子のプレボンダランス（preponderance）が大きい物質である。トンネル効果電子のスピン偏極は、例えばR. MeserveyとP. M. Tedrowによる“Spin-polarized Electron Tunneling”, Physics Reports, Vol. 238, 1994, page 200-214に述べられているような、様々な大磁界での接合コンダクタンスの電圧依存性から類推することができる。原則として、強磁性の3d遷移金属と合金については、トンネル効果電子のスピン偏極は金属の磁化より大きいことがわかっている。MeserveyとTedrowは、0.4 KでのNi、Co及びFeのスピン偏極の値をそれぞれ23%、35%及び40%と報告している。かなり小さいスピン偏極が例えば希土類金属に見られるが、これはどのような場合でも、キュリー温度が通常は室温より低く、よって有効なメモリ・セルや磁界検出素子の動作温度の範囲では磁性を示さない。

【0020】スピン・フィルタ効果の大きい界面強磁性層119は、層117の下位の硬質磁性物質の高保磁力が大きく劣化しないよう充分に薄くされる。これは、層117、119の多層構造のモーメントが固定した状態にとどまり、有効範囲内の印加磁界があるとき回転しないようにするために重要なことである。ただし界面層119はまた、スピン・フィルタ効果が大きくなるように充分厚くしなければならない。適切な厚みの範囲は0.8 nm-2.0 nmとされている。

【0021】図9と図10は、図8に示した層を形成する物質、つまり114 (15 nmのCr) / 117 (10 nmのCo₇₅Pt₁₂Cr₁₃) / 119 (2 nmのCo) / 120 (120秒プラズマ酸化した1.2 nmのAl) / 132 (15 nmのCo) / 150 (15 nmのAl) を持つ図8に従ったMTJ要素のトンネル磁気抵抗曲線である。

【0022】図9からわかるように、下部の固定強磁性多層構造を形成する10 nmのCo₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / 2 nmのCo多層構造は、1900 Oeを超える比較的高い保磁力を示す。これはメモリ・セル用途で読取り/書き込み回路により印加される有効磁界強度をゆうに超える。図9はまた、図7にトンネル磁気抵抗曲線を示した従来の技術のMTJと異なり、固定強磁性層としての多層構造を持つMTJが、ゼロ磁界付近に充分画成された2つの状態を持つことを示す。

【0023】図9、図10をここで図11、図12と比較する。図11は、20 nmのCr / 10 nmのCo₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / 120秒酸化した1.2 nmのAl / 15 nmのCo / 15 nmのAlという形の構造を持つMTJ要素のトンネル磁気抵抗と磁界の曲線である。従って、本発明のMTJとは異なり、図11、図12に応答を示しているMTJは固定強磁性層としての多層構造を持たない。その代わり、下部電極の固定強磁性層は、Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃の単層を含む。図11からわかるように、Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃層の保磁力は2200 Oeを超え、これは本発明の多層構造(図9)の保磁力よりも約3000 Oe大きい。

【0024】図12は、図11に示したものと同一MTJ要素のトンネル磁気抵抗と磁界の曲線を示し、素子に印加された磁界は±3000 Oeの範囲に限られる。トンネル磁気抵抗と磁界の曲線はゼロ磁界で充分に画成された2つの状態を示している。しかしMTJのトンネル磁気抵抗はかなり小さく、約2.5%である。図12のトンネル磁気抵抗曲線の大きさを図10と比較すると、固定強磁性層として多層構造を持つ本発明のMTJは、磁気抵抗応答がほぼ5倍(2.5%から約12%)大きいことがわかる。更にこれはゼロ磁界付近に充分に画成された2つの状態のある優れた磁気応答曲線を保ったまま実現される。従って、この改良点は、Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃層に求められる性質を事実上変えていないCo界面層によると考えられる。

【0025】図8の構造の磁性和磁気抵抗の性質は、構造が成長した磁界によって影響を受け、また構造が"セット"された磁界にも影響を受ける。上部電極のCo自由強磁性層の磁気異方性は小さく1軸であり、方向はこの層が成長した磁界によって決定される。これは、自由層のモーメントが多少とも容易に飽和する膜の平面の"容易"方向と"困難"方向につながる。ここで、膜の平面内のCo自由層の容易方向と困難方向は、それぞれφ =

0度、90度と定義される。本発明のMTJ要素の動作は、大部分、大きい磁界(ここでは5000 Oe)がサンプルの平面で印加され、下部電極のCo₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / Co多層構造のモーメントがセットされる方向によって決定される。これは図13乃至図18に示している。これらの図は、図8と同じMTJ要素について磁気抵抗と磁界の3組の曲線である。各組(図13、図14、図15、図16及び図17、図18)は、最初はCo層の容易方向に沿って(φ = 0度)、第2にCo層の困難方向に沿って(φ = 90度)、そして第3に反対方向の容易方向に沿って(φ = 180度)印加された大きい設定磁界に対応する。印加磁界は最初+5000 Oeから-5000 Oeに、更に再び+5000 Oeにスイープされる。各組の2番目の図は、印加(検出)磁界が、セット磁界と同じ方向で±3000 Oeに限られたMTJの応答を示す。±5000 Oeと±3000 Oeの両方で、スイープされた磁界について、応答は、平面内の3つの全ての方向できわめてよく似ているが、Co自由層の1軸異方性はわずかに低磁界応答に影響を与え、容易方向に沿って印加された磁界については、低磁界での応答がより方形になる(図14、18を図16と比較)。これらのデータは、Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / Coの固定強磁性多層構造のモーメントが、いずれの場合も残留モーメントが同様なサンプルの平面で、いずれの方向でもセットできることを示す。これはまたサンプルの平面の全ての方向について得られた磁気抵抗の値が同一であることにも示されている。

【0026】サンプルの平面の任意の方向に固定層をセットする可能性はまた、図19乃至図22及び図23に示されている。図19乃至図22は、+5000 Oeの大きな磁界を印加することによって、Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / Co多層構造のモーメントがφ = 90度、つまりサンプルの平面内のCo自由層の硬質磁気異方性方向に沿ってセットされたときの図8のMTJのトンネル磁気抵抗データを示す。その後、検出磁界、Hが±3000 Oe、つまりメモリや読取りヘッドの用途にMTJ素子を使用できる磁界範囲に限られた、サンプルの平面の4つの直交方向について一連のMRとHループが取られる。ここで先に定義したように、φはCo自由層の容易方向に対して測定したサンプルの平面内の印加磁界Hの方向である。磁界がCo₇₅Pt₁₂Cr₁₃ / Co多層構造のモーメントがセットされている方向と同じ方向(これらのデータではφ = 90度)に印加されたとき、MTJの抵抗は負磁界で最大である(図19)。対照的に、磁界がセット磁界の方向と反対の方向(φ = 270度)に沿って印加されたとき、MTJ抵抗は正磁界で最大である。磁界がセット磁界の方向に直交する方向(ここではφ = 180度または0度)に配向されると、MRはほとんど観測されない。これらのデータは従って、セット磁界の方向(φ = 90度)に沿って並び、基本的には、範囲が

±3000eに限られる検出磁界がサンプルの平面の任意の方向に印加されたときこの方向に沿って固定された、 $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{12}\text{Cr}_{13}/\text{Co}$ 多層構造のモーメントで一貫している。対照的に任意の方向 ϕ に沿って、ある検出磁界（範囲は±3000eの範囲に制限）を印加することは、この方向に平行または逆平行な自由層のモーメントを回転させるのに充分である。単純なトンネル・モデルでは、MTJ要素のMRは、 $\text{Co}_{75}\text{Pt}_{12}\text{Cr}_{13}/\text{Co}$ 多層構造の固定モーメントと、自由Co層のモーメントの角度の余弦に比例する。従って検出磁界の印加により自由層のモーメントが、固定層のモーメントのそれに平行または逆平行に揃うと、大きい正負いずれかのMRが観測される。対照的に自由層のモーメントが、検出磁界の印加により、固定層のそれとほぼ直交する膜の平面である方向に揃うときは、図21、図22に示すようにMRはほとんどみられない。図23は、固定モーメントの方向の3つの設定（ $\phi=0$ 度、90度及び180度）について、±3000eの範囲に制限されたサンプル平面の検出磁界の方向 ϕ に対するMRの依存性の測定値を詳しく示す。図23からわかるように ϕ に対するMRの依存性は、単純な $\cos(\phi+\phi_0)$ 依存性によりうまく説明される。ここで ϕ_0 はCo自由層の容易方向に対して固定多層構造のモーメントがセットされる角度である。固定層のモーメントが $\phi=0$ 度、90度及び180度に沿ってセットされるとき、MRはそれぞれ $\cos(\phi)$ 、 $\cos(\phi-90)$ 度及び $\cos(\phi-180)$ 度と変化し、図19乃至図22に示したデータと一致する。

【0027】本発明では、薄い界面層を持つ固定強磁性多層構造により、磁化の弱い（よってスピン・フィルタ効果も弱い）強磁性物質を保磁力の大きい硬質強磁性層に使用することが出てくる。硬質強磁性層は従って、 Co-Pt-Cr 合金、 Co-Cr-Ta 合金、 Co-Cr 合金、 Co-Sm 合金、 Co-Re 合金、 Co-Ru 合金、 Co-Ni-X 合金（ $X=\text{Pt}$ 、 Pd 、または Cr ）、更に Co-Ni-Cr-Pt 、 Co-Pt-Cr-B 等、多種多様な第4合金等、Co合金その他の元素を含め、様々な強磁性物質から形成することができる。低磁性物質を使用することはMTJ要素にとって大きい利点になる。固定強磁性層と自由強磁性層の間の静磁相互作用が少なくなるからである。またメモリ・セルの用途については、モーメントが低くなることから、メモリ・セルのアレイで隣接したMTJ要素の間の静磁相互作用が減少する。

【0028】多層構造の硬質強磁性層117の保磁力は、それが形成された界面層114の影響を強く受ける。 Co-Pt-Cr 合金の場合、好適な界面層物質はCrが10-50nm厚の薄い層である。この他Cr-V合金、Ta、Ta-W合金、Ti-W合金、W、Mo等の界面層も使用できる。

【0029】本発明では、スピン・フィルタ効果のある薄い界面層を持つ固定強磁性多層構造により、高温に対して安定なMTJ要素が得られるというもう1つの利点が得られる。固定強磁性層のモーメントが、反強磁性層との界面の交換結合によりピン止めされたMTJ要素は、先に引用した出願に述べられているように、反強磁性物質のブロッキング温度によって定義される限られた温度範囲でしか動作しない。またこのようなMTJの熱安定性は、反強磁性層によりピン止めされた強磁性層や、反強磁性層の適切な動作に必要なシード層等、隣接した層と接触した反強磁性層の熱安定性により制限される。

【0030】ここに述べ図示したMTJ素子は、基板付近の下部に固定多層構造があるが、この素子はまた、自由強磁性層を最初に被着し、続いてトンネル・バリア層、スピン・フィルタ効果を持つ界面層、及び硬質強磁性層を被着することによっても形成できる。こうしたMTJ素子は、層が基本的には図8に示したMTJ素子とは反転したものになる。

【0031】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0032】(1) 印加磁界があるときに磁気トンネル結合素子の電気抵抗の変化を検出する電気回路と接続する該素子であって、前記素子にとって有効な範囲の印加磁界よりもかなり大きい保磁力を持つ第1強磁性層、及び該第1強磁性層上に形成されそれと接触し、該第1強磁性層よりも磁化が大きく、該第1強磁性層と比較してかなり薄い、界面強磁性層の2つの強磁性層を含む多層構造であって、該多層構造の保磁力が該第1強磁性層の保磁力を大きく下回ることとはなく、よって該多層構造のモーメントは有効範囲の印加磁界があるときに好適な方向に固定される、該多層構造と、有効範囲の印加磁界があるときモーメントが自由に回転する自由強磁性層と、前記多層構造の前記界面強磁性層と前記自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記多層構造と自由強磁性層に対してほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる絶縁トンネル層と、前記多層構造、トンネル層及び自由強磁性層が形成された基板と、を含む、磁気トンネル接合素子。

(2) 前記多層構造と自由強磁性層のモーメントは、印加磁界があるとき互いにほぼ平行か逆平行である、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(3) 前記自由強磁性層のモーメントは、印加磁界があるとき前記多層構造のモーメントに対してほぼ垂直である、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(4) 前記多層構造は、前記基板と絶縁トンネル層の間に位置する、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(5) 前記自由強磁性層は、前記基板と絶縁トンネル層の間に位置する、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(6) 前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(7) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co及びCr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru及びBのいずれかまたは複数との合金を含む、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(8) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co、Pt及びCrを含む合金であり、Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ti-W合金、Ta-W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(9) 前記界面強磁性層の第1強磁性層の物質はCoである、前記(1)記載の磁気トンネル接合素子。

(10) 前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、前記(9)記載の磁気トンネル接合素子。

(11) 2つの磁気状態を有し、メモリ・セルの不揮発性磁気メモリ・アレイに使用でき、該アレイは読取り／書込み回路に接続されて、該アレイの個々のメモリ・セルの磁気状態を変化させ且つ検出する、磁気トンネル接合メモリ・セルであって、前記読取り／書込み回路からの電流により生じた印加磁界があるときモーメントが好適な方向に固定され、前記印加磁界よりもかなり大きい保磁力を有する第1強磁性層と、該第1強磁性層上に形成されそれと接触した界面強磁性層とを含み、該界面層は磁化が該第1強磁性層の磁化よりもかなり大きく、該第1強磁性層と比較してかなり薄いため、固定強磁性多層構造の保磁力は、該第1強磁性層の保磁力をかなり下回り、よって該固定多層構造のモーメントは、前記印加磁界があるとき前記好適な方向に固定された状態にとどまる、該固定強磁性多層構造と、モーメントが、前記印加磁界下で前記固定多層構造のモーメントにはほぼ平行な方向と逆平行な方向の間で自由に回転可能な自由強磁性層と、前記多層構造の界面強磁性層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層と、前記固定多層構造、トンネル層及び自由強磁性層が形成された基板と、を含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が前記読取り／書込み回路に接続されたとき、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が、前記自由強磁性層の前記平行または逆平行なモーメントにより決定され、よって前記電気抵抗の値により、前記メモリ・セルの磁気状態が決定可能になる、磁気トンネル接合メモリ・セル。

(12) 前記多層構造は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、前記(11)記載の磁気トンネル

接合メモリ・セル。

(13) 前記自由強磁性層は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、前記(11)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(14) 前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、前記(11)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(15) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co及びCr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru及びBのいずれかまたは複数との合金を含む、前記(11)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(16) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co、Pt及びCrを含む合金であり、Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ti-W合金、Ta-W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、前記(11)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(17) 前記界面強磁性層の物質はCoである、前記(11)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(18) 前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、前記(17)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(19) 2つの磁気状態を有し、メモリ・セルの不揮発性磁気メモリ・アレイに使用でき、該アレイは読取り／書込み回路に接続されて、該アレイの個々のメモリ・セルの磁気状態を変化させ且つ検出する、磁気トンネル接合メモリ・セルであって、基板と、前記読取り／書込み回路からの電流により生じた印加磁界があるときモーメントが好適な方向に固定される固定強磁性多層構造であって、Co、Pt及びCrを含み、前記基板上に形成され、保磁力が前記印加磁界よりもかなり大きい合金の強磁性層と、基本的にはCoで構成され、該Co-Pt-Cr層上に形成されてそれと接触し、磁化が該Co-Pt-Cr層よりもかなり大きく、該Co-Pt-Cr層の厚みと比較してかなり薄い界面強磁性層とを含み、該多層構造の保磁力は該Co-Pt-Cr層の保磁力をかなり下回り、よって該固定多層構造のモーメントは前記印加磁界があるとき前記好適な方向に固定された状態にとどまる、固定強磁性多層構造と、モーメントが前記印加磁界下で前記固定多層構造のモーメントにはほぼ平行な方向と逆平行な方向の間で自由に回転可能な自由強磁性層と、前記多層構造の界面Co層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層とを含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が前記読取り／書込み回路に接続されたとき、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が、前記自由強磁性層の前

記平行または逆平行なモーメントにより決定され、よって前記電気抵抗の値により、前記メモリ・セルの磁気状態が決定可能になる、磁気トンネル接合メモリ・セル。

(20) 前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、前記(19)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(21) Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ti-W合金、Ta-W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、前記(19)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(22) 前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、前記(19)記載の磁気トンネル接合メモリ・セル。

(23) 外部磁界を検出する磁気トンネル接合磁界センサであって、検出される外部磁界の範囲の印加磁界があるときモーメントが好適な方向で固定され、保磁力が該印加磁界よりもかなり大きい第1強磁性層と、該第1強磁性層上に形成されこれと接触し、磁化が該第1強磁性層の磁化よりもかなり大きく、該第1強磁性層の厚みと比較してかなり薄い界面強磁性層とを含み、よって該モーメントが該印加磁界があるとき該好適な方向に固定された状態にとどまる、固定強磁性多層構造と、モーメントが、印加磁界がないとき前記固定多層構造のモーメントに対してはほぼ垂直な方向を向き、検出される外部磁界の範囲の印加磁界があるとき該垂直な方向から離れるように自由に回転可能な、自由強磁性層と、前記界面層と自由強磁性層の間に位置してそれと接触し、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向にトンネル電流を流すことのできる、絶縁トンネル・バリア層と、前記固定多層構造、トンネル・バリア層及び自由強磁性層が形成された基板と、を含み、よって前記固定多層構造と自由強磁性層が、検出される外部磁界下にあるとき、前記自由強磁性層のモーメントは、前記固定多層構造のモーメントに対してその向きを変え、前記固定多層構造と自由強磁性層に対してはほぼ垂直な方向で前記絶縁トンネル・バリア層を流れる電流に対する電気抵抗が変化し、よって外部磁界が検出可能になる、磁気トンネル接合磁界センサ。

(24) 前記多層構造は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(25) 前記自由強磁性層は前記基板と絶縁トンネル・バリア層の間に位置する、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(26) 前記自由強磁性層の物質は、Co、Coの合金及びNi-Feの合金で構成されたグループから選択される、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(27) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co及びCr、Pt、Pd、Ni、Ta、Sm、Re、Ru及びBのいずれかまたは複数との合金を含む、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(28) 前記多層構造の第1強磁性層の物質は、Co、Pt及びCrを含む合金であり、Co-Pt-Cr合金が形成され、Cr、Cr-V合金、Ta、Ta-W合金、W及びMoで構成されたグループから選択された物質から形成される界面層を含む、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(29) 前記界面強磁性層の物質はCoである、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

(30) 前記Co界面強磁性層の厚みは約0.8nm乃至2.0nmの範囲である、前記(23)記載の磁気トンネル接合磁界センサ。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の技術のMTJを使用しているが、先に引用した出願に従って絶縁層に開けられた自己整合コンタクト・ホールのある構造を持つMTJメモリ・セルの断面図である。

【図2】従来の技術のMTJを使用しているが、先に引用した出願に従って絶縁層に開けられた自己整合コンタクト・ホールのある構造を持つMTJメモリ・セルの平面図である。

【図3】図1と同様であるが、平坦化された自己整合コンタクト・ホールを持ち、MTJの全ての層が、先に引用した出願に従い、同じ連続した側面を持つMTJ素子の断面図である。

【図4】従来の技術のMTJを使用しているが、先に引用した出願に従って平坦化された自己整合コンタクト・ホールのある構造を持つMTJ磁界検出素子の断面図である。

【図5】従来の技術のMTJを使用しているが、先に引用した出願に従って平坦化された自己整合コンタクト・ホールのある構造を持つMTJ磁界検出素子の平面図である。

【図6】磁気的に硬質な強磁性層と磁気的に軟質な強磁性層を2つの電極とした従来の技術のMTJを構成する層の図である。

【図7】図6に示した従来技術のMTJの典型的な磁気抵抗応答曲線を示す図である。

【図8】スピン・フィルタ効率の高い強磁性界面層を含む固定強磁性多層構造を持つ本発明に従ったMTJを構成する層の図である。

【図9】本発明に従った、図8に示したMTJのトンネル磁気抵抗と印加磁界の曲線であり、±5000Oeの範囲の検出磁界のMTJの応答を示す図である。

【図10】本発明に従った図8に示したMTJのトンネル磁気抵抗と印加磁界の曲線であり、±3000Oeの範囲の検出磁界について図9と同じMTJの応答を示す図

である。

【図11】本発明のMTJと同様のMTJのトンネル磁気抵抗と印加磁界の曲線であるが、固定多層構造の代わりに $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{1.2}\text{Cr}_{1.1}$ の1つの固定強磁性層を持ち、 $\pm 50000\text{e}$ の範囲の検出磁界のMTJの応答を示す図である。

【図12】本発明のMTJと同様のMTJのトンネル磁気抵抗と印加磁界の曲線であるが、固定多層構造の代わりに $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{1.2}\text{Cr}_{1.1}$ の1つの固定強磁性層を持ち、 $\pm 3000\text{e}$ の範囲の検出磁界について図11と同じMTJの応答を示す図である。

【図13】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、 $\pm 50000\text{e}$ の範囲の検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図14】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、範囲が ± 300 に限定されているが同じ方向での検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図15】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、 $\pm 50000\text{e}$ の範囲の検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図16】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、範囲が ± 300 に限定されているが同じ方向での検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図17】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、 $\pm 50000\text{e}$ の範囲の検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図18】MTJ要素の平面内の特定の方向に沿って印加された検出磁界に対する本発明のMTJ要素のトンネル磁気抵抗応答曲線であり、範囲が ± 300 に限定されているが同じ方向での検出磁界について応答曲線を示す図である。

【図19】Co自由層の硬質方向に沿って 50000e の磁界を印加することによってMTJの硬質強磁性層がセットされた後に取られ、MTJ平面内の特定の方向の $\pm 3000\text{e}$ の範囲の磁界に対して、本発明のMTJの

典型的な応答曲線を示す図である。

【図20】Co自由層の硬質方向に沿って 50000e の磁界を印加することによってMTJの硬質強磁性層がセットされた後に取られ、MTJ平面内の特定の方向の $\pm 3000\text{e}$ の範囲の磁界に対して、本発明のMTJの典型的な応答曲線を示す図である。

【図21】Co自由層の硬質方向に沿って 50000e の磁界を印加することによってMTJの硬質強磁性層がセットされた後に取られ、MTJ平面内の特定の方向の $\pm 3000\text{e}$ の範囲の磁界に対して、本発明のMTJの典型的な応答曲線を示す図である。

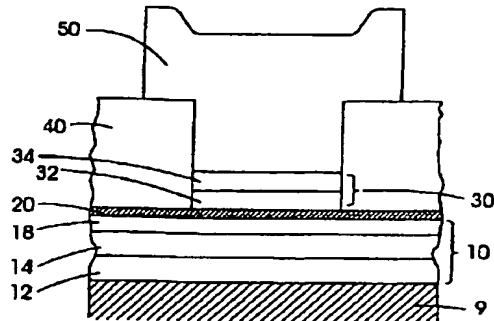
【図22】Co自由層の硬質方向に沿って 50000e の磁界を印加することによってMTJの硬質強磁性層がセットされた後に取られ、MTJ平面内の特定の方向の $\pm 3000\text{e}$ の範囲の磁界に対して、本発明のMTJの典型的な応答曲線を示す図である。

【図23】MTJ素子の平面で、強磁性自由層の容易方向に対して検出磁界の方向が取る角度の関数としての本発明のMTJ要素の磁気抵抗応答であり、硬質層の3つの強磁性モーメント設定に対応した3つの曲線を示す図である。

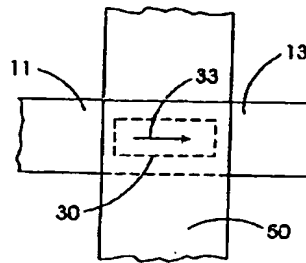
【符号の説明】

- 9 基板
- 10 ベース電極スタック
- 11、13 延長部
- 12 シード層
- 14 界面層
- 18 固定強磁性層
- 20 絶縁トンネル・バリア層
- 30 上部電極スタック
- 32 自由強磁性層
- 34 保護層
- 40 絶縁層
- 50 上部配線層
- 70 上部接合電極スタック
- 72 強磁性層
- 110 下部電極
- 117 硬質強磁性層
- 119 界面強磁性層
- 120 アルミナ・トンネル・バリア層
- 130 上部電極
- 150 電気リード層

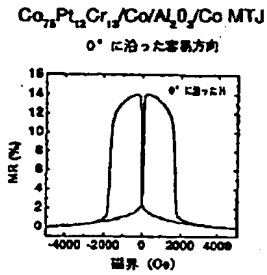
【図 1】



【図 2】

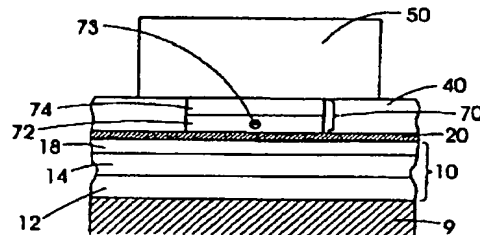
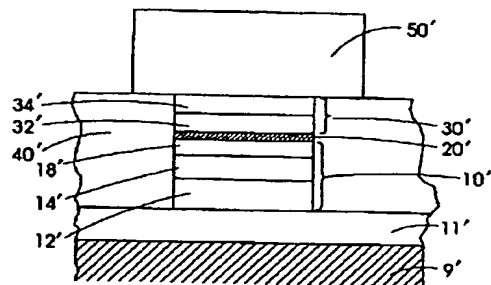


【図 13】



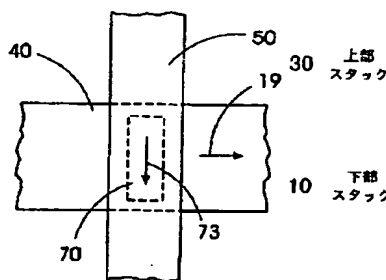
【図 4】

【図 3】

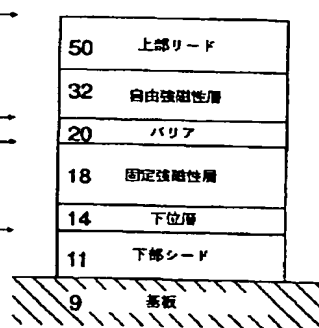


【図 9】

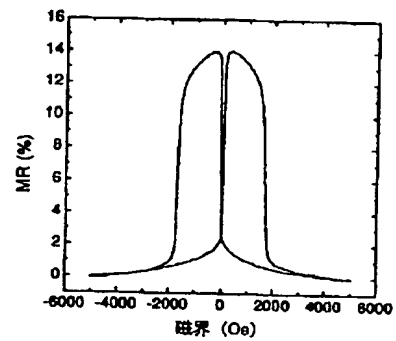
【図 5】



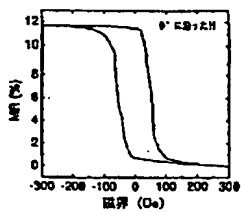
【図 6】



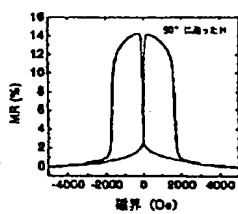
【図 10】



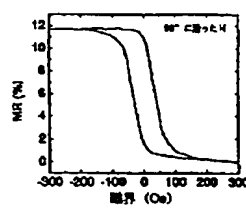
【図 14】



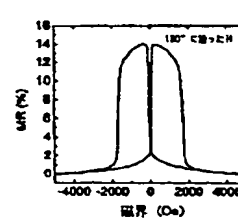
【図 15】



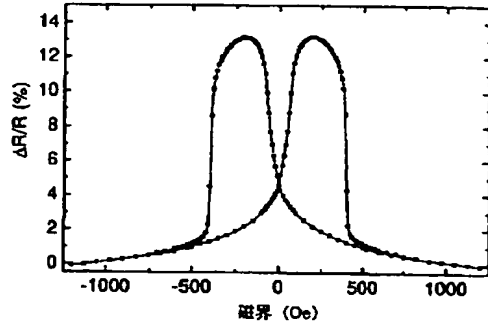
【図 16】



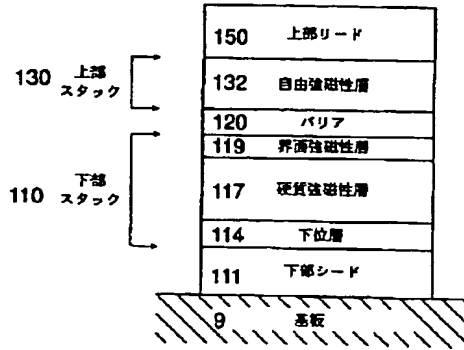
【図 17】



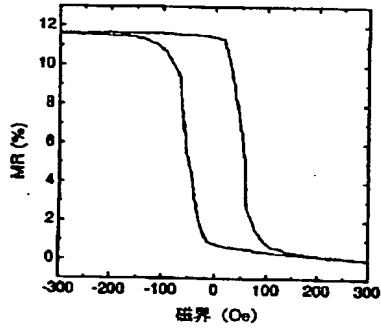
【図7】



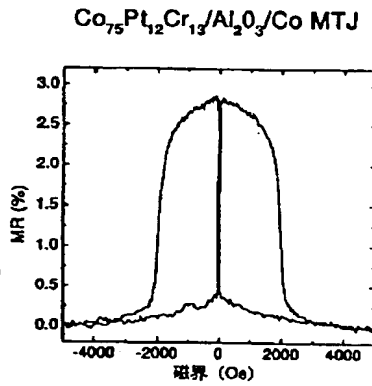
【図8】



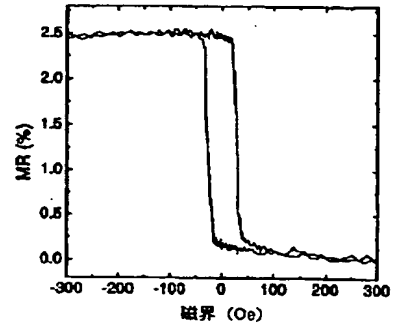
【図10】



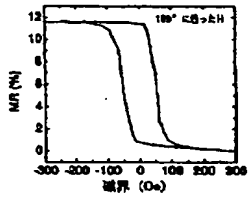
【図11】



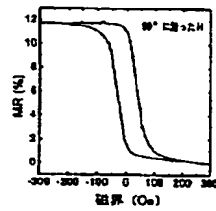
【図12】



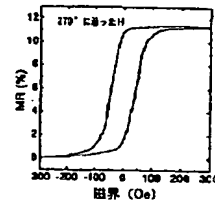
【図18】



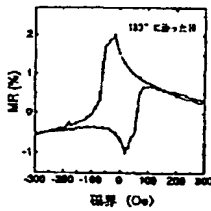
【図19】

Co₇₅Pt₁₂Cr₁₃/Co/Al₂O₃/Co MTJ

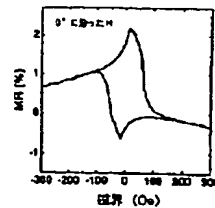
【図20】



【図21】

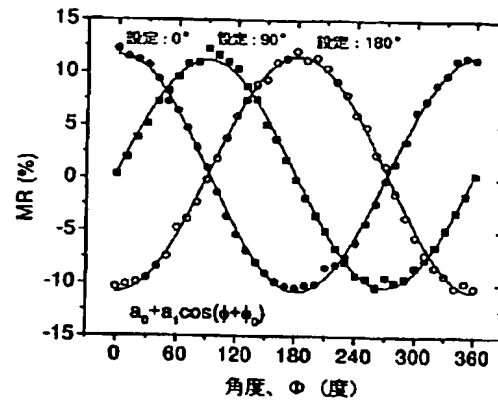


【図22】



$\phi = 90^\circ$: 固定モーメント方向
 $\phi = 0^\circ$: コバルト自由層の容易方向
 検出磁界方向

【図 2 3】

$$\text{Co}_{75}\text{Pt}_{12}\text{Cr}_{13}/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co MTJ}$$


**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.